

Carbonell Padrino, María Victoria; Martínez Ramírez, Elvira; Flórez García, Mercedes  
**TRATAMIENTO MAGNÉTICO COMO TÉCNICA ESTIMULANTE DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE SOJA**

Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, núm. 12, enero-diciembre, 2013, pp. 119-127  
Universidad del Valle  
Cali, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231130851010>



*Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*,  
ISSN (Versión impresa): 1692-9918  
[revistaeidenar@univalle.edu.co](mailto:revistaeidenar@univalle.edu.co)  
Universidad del Valle  
Colombia

---

## **TRATAMIENTO MAGNÉTICO COMO TÉCNICA ESTIMULANTE DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE SOJA**

### **MAGNETIC TREATMENT TECHNIQUE AS STIMULATING SOYBEAN SEED GERMINATION**



#### **RESUMEN**

**María Victoria Carbonell Padrino, Ph.D.**

Dpto. Física y Mecánica de la Ingeniería Agroforestal,  
Universidad Politécnica de Madrid.  
Ciudad Universitaria, Madrid (España).  
[victoria.carbonell@upm.es](mailto:victoria.carbonell@upm.es)

**Elvira Martínez Ramírez, Ph.D.**

Dpto. Física y Mecánica de la Ingeniería Agroforestal  
Universidad Politécnica de Madrid.  
Ciudad Universitaria, Madrid (España).  
[elvira.martinez@upm.es](mailto:elvira.martinez@upm.es)

**Mercedes Flórez García, Ph.D.**

Dpto. Física y Mecánica de la Ingeniería Agroforestal,  
Universidad Politécnica de Madrid.  
Ciudad Universitaria, Madrid (España).  
[mercedes.florez@upm.es](mailto:mercedes.florez@upm.es)

El campo magnético está presente en la naturaleza y afecta al reino vegetal y animal. El *bioelectromagnetismo* es el estudio de los efectos de los campos electromagnéticos sobre los sistemas biológicos y sus interacciones con los campos magnéticos naturales y artificiales. Estudios previos han determinado que la aplicación de campos magnéticos modifica la velocidad de germinación y el desarrollo de las plantas. La soja constituye uno de los cultivos oleaginosos más importantes del mundo; en las últimas décadas su popularidad se ha incrementado por considerar esta leguminosa como una fuente de salud. Este estudio se centra en el efecto que se puede producir en la germinación de la soja (*Glycine max* L.) al exponerlo a campos magnéticos estacionarios de 125 mT, 250 mT y 300 mT durante diferentes tiempos de exposición (10', 20', 1 hora, 24 horas y de forma permanente). Se observan diferencias muy significativas, tanto en la velocidad de germinación como en el porcentaje de semillas germinadas, entre las semillas

---

\*Recibido: Agosto 1 2013 \*Aceptado 13 Septiembre 2013

control y las tratadas. Estos resultados ofrecen nuevas posibilidades para una más efectiva producción vegetal.

### PALABRAS CLAVE

Campo magnético estacionario, soja, *Glycine max* L., parámetros de germinación, velocidad de germinación, imanes

### ABSTRACT

*Magnetic field is present in the nature and affects the vegetable and animal king. The bioelectromagnetism is the study of effects of electromagnetic fields on biological system and their interactions with natural and artificial magnetic fields. Previous studies have showed that magnetic field application increase the rate of germination and first stage of growth of seedlings. The soy bean is one of most important oleaginous cultures of the world, in last decades its popularity has been increase to be considered as healthy source.*

*The research study is focus to determine the effects on soy bean (*Glycine max* L.) germination when seeds were exposed to 125 mT, 250 mT y 300 mT magnetic field for different times of exposure: 10', 20', 1 hour, 24 hours and chronic exposure. Significant differences on percentage and rate of germination was found when seeds were exposed to magnetic field. These results could be a new possibility for a more effective vegetable production.*

### KEY WORD

Stationary magnetic field, soy bean, *Glycine max* L., germination parameters, rate of germination, magnets

## 1. INTRODUCCIÓN

El interés del hombre por el fenómeno del magnetismo se remonta a las primeras civilizaciones y hay registros de por lo menos 600 años a.C. que evidencian el conocimiento de la electricidad estática. Los campos magnéticos afectan a todos los seres vivos, motivo por el cual son objeto de investigación a nivel mundial y una

evidencia del efecto del magnetismo terrestre sobre los seres vivos es la existencia de ciertas algas y bacterias que utilizan el geomagnetismo para orientarse (Tarduno, 2010). En los humanos, los campos magnéticos pueden afectar a nivel neuronal, existiendo controversia en cuanto a su influencia en la salud y la posibilidad de provocar efectos nocivos (líneas de alta tensión, antenas de telefonía móvil, Wi-Fi y electrodomésticos). Sin embargo, las aplicaciones de estos campos son muy variadas y el magnetismo resulta esencial en nuestra tecnología como medio ideal de almacenamiento de datos en cintas y discos magnéticos, además de sus aplicaciones médicas utilizando equipos para diagnóstico RMN y para tratamiento basados en la magnetoterapia (Kirschvink, 2001).

En un punto existe un campo magnético si una carga eléctrica móvil que pase por dicho punto, además de sufrir una fuerza de carácter eléctrico, sufre otra fuerza. Los campos magnéticos pueden representarse por líneas de campo cuya dirección en cada punto puede representarse por un vector  $\vec{B}$  que recibe el nombre de *campo magnético*. El número de líneas de fuerza que atraviesan una superficie se denomina "flujo magnético a través de la superficie" y se representa por  $\Phi$ . Su valor será:

$$\Phi = \left| \int \vec{B} \cdot d\vec{S} \right| = \int B \cdot \cos\phi \cdot dS \quad (1)$$

$\vec{B}$  es el campo magnético y  $S$  la superficie. El valor de  $\Phi$  en un punto de  $S$  es el ángulo entre los vectores  $\vec{B}$  y  $d\vec{S}$  en dicho punto. La existencia de un campo magnético  $\vec{B}$  en un punto del espacio puede demostrarse con una brújula. Si existe un campo magnético, la aguja se alineará en la dirección de este campo  $\vec{B}$ . Si en una región del espacio en la que existe campo magnético  $\vec{B}$  se introduce una carga  $q$  que posee una velocidad  $\vec{v}$ , sufre una fuerza que es proporcional a  $q$  y a  $\vec{v}$  y al seno del ángulo entre  $\vec{B}$  y  $\vec{v}$ .

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (2)$$

Los campos electromagnéticos artificiales generados por el hombre pueden ser de carácter magnético, eléctrico o de ondas electromagnéticas. Proceden de las

líneas que transportan la energía eléctrica desde los centros de producción a los de consumo, de las instalaciones industriales y domésticas, de los sistemas de comunicaciones (radio, televisión, teléfonos móviles o fijos). El *bioelectromagnetismo* es el estudio de los efectos de los campos electromagnéticos sobre los sistemas biológicos y sus interacciones con los campos naturales y artificiales. La creciente producción de estos campos electromagnéticos debido al aumento de equipos e instalaciones electrónicas ha llegado a preocupar a muchos investigadores. Dichos efectos dependen de muchos factores, entre ellos: intensidad de los campos, tipo de onda, tiempo de exposición y tipo de célula. El campo magnético de la Tierra, que oscila entre 0,4 y 0,6 Gauss (Amaya *et al.*, 2009), ha sido desde el principio de los tiempos un componente neutral del entorno de los organismos vivos.

Desde un prisma agrícola, desde hace tiempo se han llevado a cabo investigaciones con la finalidad de determinar si un campo magnético modifica la velocidad de germinación y el desarrollo de las plantas, encontrándose numerosas referencias bibliográficas. En esta línea se enmarca este trabajo, centrado en determinar el efecto en la germinación y primeras etapas de crecimiento de la soja (*Glycine max L.*) al exponer las semillas a campos magnéticos estacionarios de 125 mT, 250 mT y 300 mT. Se trata de uno de los cultivos oleaginosos más importantes del mundo y un alimento básico en Oriente; hoy día se cultiva en todas partes, especialmente en los Estados Unidos. La soja es originaria de China y su utilización por el hombre se remonta, probablemente, a los comienzos del siglo XV a.C. En las últimas décadas su popularidad se ha incrementado por considerar esta leguminosa como una fuente de salud porque contiene 36 % de proteína vegetal y, grasas de tipo insaturado (cardiosaludables), además de vitaminas del grupo B y minerales.

Los primeros estudios de aplicación de campos magnéticos a especies vegetales comenzaron con Savostin (1930), que observó un incremento en la tasa de crecimiento de las plántulas procedentes de semillas de trigo tratadas con campos magnéticos estacionarios. Posteriormente, Pittman (1963) expuso semillas de cebada, lino, avena y centeno, durante 48 horas a un campo magnético estacionario de intensidad 254 mT durante 48 horas. Las semillas se orientaron unas con el eje longitudinal paralelo a las líneas de fuerza del campo magnético y otras perpendicularmente a ellas. Concluyó que la presencia del campo magnético y la orientación

del eje longitudinal de las semillas respecto a las líneas de fuerza de dicho campo aumentaban la velocidad de germinación de las semillas.

Durante los años 60 y 70, muchos son los investigadores dedicados a aclarar los efectos producidos por los campos magnéticos en distintas especies vegetales; se destacan los trabajos desarrollados por: Mericle *et al.* (1964) con cebada; Pittman (1965) con judías y maíz; Shultz *et al.* (1966) con semillas de cebada, maíz, pepino, veza y rábano; Chao y Walker (1967) estudiaron la germinación de semillas de manzana, albaricoque y melocotón; Chauvasv (1967) comprobó que cuando las semillas de trigo y maíz se orientaban en la dirección norte-sur del campo geomagnético las plántulas mejoraban su crecimiento; Lebedev (1977) expuso la cebada durante tres semanas a campos magnéticos estacionarios de 10 nT y comprobó un decrecimiento de hasta un 12 % del peso fresco de los primeros brotes y de un 35 % de las raíces, así como de 19 y 48 % del peso seco respectivamente; y, Gusta *et al.* (1978) trataron semillas de trigo, avena y cebada a cinco intensidades de campo magnético de 0, 25, 50, 100 y 150 mT, las semillas de trigo tratadas con 150 mT mostraron mayor velocidad de germinación, tras 48 horas, comparado con el control. Los estudios continuaron durante las siguientes décadas, poniendo en evidencia el efecto positivo de los campos magnéticos estacionarios en la germinación y crecimiento de plantas. Pietruszewski (1993), trabajando con campos magnéticos de pequeña intensidad (comprendidos entre 10 y 30 mT), estudió el efecto en las propiedades biofísicas en cosechas de trigo. Phirke *et al.* (1996) estudiaron el efecto de la intensidad del campo magnético y tiempo de exposición en la producción de granos de soja, algodón y trigo.

Se utilizó un rango de intensidades de campo magnético de 72-128 mT y tiempos de exposición comprendidos entre 13 y 27 minutos. Las dosis óptimas que permitieron obtener las máximas cosechas respecto al control fueron para la soja y el algodón, con aumentos en la producción del 14 al 46%. Belyavskaya (2004) comprobó que las semillas de trigo, sometidas a 30 mT durante 15 minutos, presentaban una formación del número de raíces un 25 % superior al control. Torres *et al.* (2008) realizaron un pretratamiento magnético a semillas de arroz y tomate con intensidades de campo magnético estacionario de 5 y 10 mT durante diferentes tiempos de exposición: 1, 10, 20, 60 minutos, 24 y 48 horas. Para el arroz, los tratamientos en los que el número de semillas germinadas era significativamente mayor que el

control, fueron los que tenían tiempos de exposición de 1 minuto y 48 horas para ambas intensidades de campo magnético. En cuanto a las semillas de tomate, hubo significación en los tratamientos de 10 minutos y 48 horas para ambas intensidades.

En el Dpto. de Física y Mecánica de la Ingeniería Agroforestal de la Universidad Politécnica de Madrid, el grupo de investigación ha realizado estudios previos en esta línea con semillas de cereales (trigo, avena, cebada, maíz, arroz), leguminosas (lenteja, guisante), pratenses (alfalfa, poa, festuca, lolium, agrostis), medicinales (salvia, caléndula) y otras como girasol y cardo.

Todos ellos mostraron que el tratamiento de semillas con campos magnéticos tiene un efecto positivo sobre su germinación y desarrollo. Recientemente, (Carbonell *et al.* 2011) expusieron semillas de guisante (*Pisum sativum* L) a campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT y estudiaron los efectos en los estados iniciales de crecimiento.

La longitud y peso de las plántulas a las que se había aplicado dicho tratamiento magnético fueron superiores a los de control. Los mejores resultados se obtuvieron para exposición continua. A pesar de los resultados satisfactorios obtenidos, el elevado número de factores que intervienen en la interacción del campo magnético y el ser vivo complica el establecimiento de mecanismos de acción.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se han realizado tests de germinación para determinar la influencia en la velocidad germinativa de semillas de soja (*Glycine max*), que han sido sometidas a la acción de un campo magnético estacionario de 125 mT, 250 mT y 300 mT durante diferentes tiempos de exposición. Los parámetros determinados son el porcentaje de semillas germinadas ( $G_{m\acute{a}x}$ ), el tiempo medio de germinación (TMG) y el tiempo necesario para que germine el 1, 10, 25, 50, 75 y 90 % de las semillas utilizadas en cada tratamiento ( $T_1 T_{10} T_{25} T_{50} T_{75}$  y  $T_{90}$ ).

Estos ensayos de germinación se realizaron en placas Petri, teniendo en cuenta las recomendaciones especificadas en las Reglas ISTA (International Seed Testing Association). Los ensayos se han realizado en condicio-

nes similares de temperatura ambiente ( $20 \pm 2$  °C) y luz natural de laboratorio.

El campo geomagnético en el laboratorio tiene un valor de 42  $\mu$ T. Se utilizaron 100 semillas para cada uno de los 15 tratamientos y el grupo control, distribuidas en 4 placas de Petri con 25 semillas cada una; es decir, 4 repeticiones por tratamiento y el control, en total 1600 semillas. Los resultados se analizaron y compararon con el software Seed Calculator (programa específicamente desarrollado para el análisis de la germinación por Plant Research International en Wageningen, Holanda).

Se han utilizado imanes de 125, 250 y 300 mT de inducción magnética. Los imanes tienen forma de tronco cilíndrico anular y son de material cerámico. Sus dimensiones son: diámetro exterior de 7,5 cm e interior de 3 cm; altura de 1 cm para imanes de 125 mT, 1,5 cm para imanes de 250 mT y 2 cm para imanes de 300 mT (Fotografía 1).

Los distintos tratamientos aplicados se diferencian entre sí por la distinta magnitud de dos variables: inducción magnética y tiempo de exposición. En la Tabla 1 se expone la nomenclatura empleada. En este estudio no se realizaron los tratamientos crónicos correspondientes a la notación D6, D12.

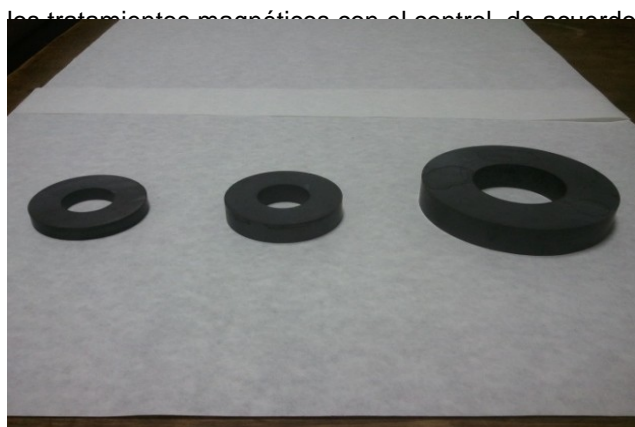
Las semillas eran magnéticamente tratadas antes de entrar en contacto con el agua. Se procedía depositando las 25 semillas en el hueco del imán cerámico durante el tiempo correspondiente a su tratamiento (Fotografía 2). Se colocaban las 25 semillas de soja formando una circunferencia sobre el papel de filtro humedecido con 12 ml de agua destilada (Fotografía 3).

Las placas se dispusieron aleatoriamente, separadas entre sí aproximadamente 20 cm, para que los campos magnéticos generados por cada imán afectaran sólo a la placa que tuvieran situada encima.

Posteriormente se fueron realizando conteos, en los que se apuntaba el número de semillas que habían germinado en cada placa. Las placas se tomaban de la mesa de forma aleatoria.

El *análisis estadístico* considera el número de semillas empleadas como una variable aleatoria que se ajusta a una distribución t de Student, permitiendo la comparación de los parámetros de germinación para cada uno de





### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los resultados, que se recogen en las Tablas 2, 3 y 4, se aprecia que las semillas que han recibido alguno de los tratamientos magnéticos (D2 a D5; D8 a D11; D14 a D17) presentan siempre valores medios de los parámetros de germinación ( $T_1$ ,  $T_{10}$ ,  $T_{25}$ ,  $T_{50}$ ,  $T_{75}$ ,  $T_{90}$  y TMC)

**Fotografía 1** Imanes, de izquierda a derecha, de 125, 250 y 300 mT.

**Tabla 1.** Dosis magnéticas aplicadas en función del tiempo de exposición y la inducción magnética.

Tiempo de exposición	125 mT	250 mT	300 mT
0 min	D1 (control, C)	D7 (control, C)	D13 (control, C)
10 min	D2	D8	D14
20 min.	D3	D9	D15
1 hora	D4	D10	D16
24 horas	D5	D11	D17



**Fotografía 2** Grupo de 25 semillas de soja en el hueco de un imán para recibir tratamiento magnético.



**Fotografía 3** Grupo de 25 semillas de soja dispuestas en la Placa Petri.

mente significativas si  $p \leq 0,001$ , muy significativas si  $0,001 < p \leq 0,01$  y significativas si  $0,01 < p \leq 0,05$ .

inferiores a las correspondientes al grupo control. Las diferencias existentes respecto al control han resultado significativas en todos los tratamientos para la mayor parte de los parámetros.

**Tabla 2** Parámetros de germinación  $\pm$  error estándar de semillas de soja.  $G_{max}$ : Porcentaje de germinación T1-T90: tiempo necesario para alcanzar el 1-90% de semillas germinadas. TMG: Tiempo Medio de Germinación. Tiempos de exposición a un campo magnético de inducción 125 mT: sin exposición (control C), 10 minutos (D2), 20 minutos (D3), 1 hora (D4), 24 horas (D5). Los asteriscos indican el nivel de significación de las diferencias respecto al control:  $p \leq 0,001^{***}$ ;  $0,001 < p \leq 0,01^{**}$ ;  $0,01 < p \leq 0,05^*$ .

B 125 mT	$G_{max}$ %	T1 horas	T10 horas	T25 horas	T50 horas	T75 horas	T90 horas	TMG horas
C	76.00 $\pm 1.63$	16.32 $\pm 3.36$	27.84 $\pm 2.64$	36.24 $\pm 1.92$	47.52 $\pm 0.96$	60.96 $\pm 1.20$	76.32 $\pm 3.60$	50.40 $\pm 1.92$
D2	92.00 $\pm 0.00$ ***	10.08 $\pm 1.68$	18.48 $\pm 0.96$ *	25.20 $\pm 0.72$ **	34.80 $\pm 1.20$ ***	48.00 $\pm 1.68$ ***	65.04 $\pm 3.12$	39.36 $\pm 1.44$ **
D3	89.00 $\pm 1.00$ ***	6.00 $\pm 0.96$ *	17.04 $\pm 0.72$ **	27.36 $\pm 1.44$ **	41.28 $\pm 2.16$ *	57.84 $\pm 2.16$	74.64 $\pm 0.24$	44.16 $\pm 0.96$ *
D4	92.00 $\pm 1.63$ ***	10.08 $\pm 1.92$	20.16 $\pm 1.68$ *	28.32 $\pm 1.44$ *	39.84 $\pm 2.16$ *	54.24 $\pm 4.08$	71.52 $\pm 6.72$	43.68 $\pm 3.12$
D5	92.00 $\pm 0.00$ ***	9.84 $\pm 2.16$	19.92 $\pm 1.92$	28.88 $\pm 1.44$ *	39.36 $\pm 0.96$ ***	54.00 $\pm 1.44$ ***	71.52 $\pm 2.88$	43.44 $\pm 1.68$ *

**Tabla 3** Parámetros de germinación  $\pm$  error estándar de semillas de soja.  $G_{max}$ : Porcentaje de germinación T1-T90: tiempo necesario para alcanzar el 1-90% de semillas germinadas. TMG: Tiempo Medio de Germinación. Tiempos de exposición a un campo magnético de inducción 250 mT: sin exposición (control C), 10 minutos (D7), 20 minutos (D8), 1 hora (D9), 24 horas (D10). Los asteriscos indican el nivel de significación de las diferencias respecto al control:  $p \leq 0,001^{***}$ ;  $0,001 < p \leq 0,01^{**}$ ;  $0,01 < p \leq 0,05^*$ .

B 250 mT	$G_{max}$ %	T1 horas	T10 horas	T25 horas	T50 horas	T75 horas	T90 horas	TMG horas
C	76.00 $\pm 1.63$	16.32 $\pm 3.36$	27.84 $\pm 2.64$	36.24 $\pm 1.92$	47.52 $\pm 0.96$	60.96 $\pm 1.20$	76.32 $\pm 3.60$	50.40 $\pm 1.92$
D7	95.00 $\pm 3.00$ ***	2.64 $\pm 1.68$ *	11.04 $\pm 2.40$ **	20.64 $\pm 2.64$ **	35.52 $\pm 3.12$ *	54.72 $\pm 3.60$	75.36 $\pm 4.32$	40.08 $\pm 2.88$ *
D8	94.00 $\pm 1.15$ ***	11.52 $\pm 0.96$	21.36 $\pm 0.48$ *	28.56 $\pm 0.24$ **	37.92 $\pm 0.48$ ***	49.20 $\pm 0.96$ ***	61.20 $\pm 1.68$ **	40.08 $\pm 0.72$ **
D9	90.00 $\pm 1.15$ ***	8.40 $\pm 0.96$	20.16 $\pm 1.20$ *	29.52 $\pm 1.20$ *	41.76 $\pm 1.20$ *	55.6 $\pm 1.44$ *	69.84 $\pm 1.92$	43.68 $\pm 1.44$ *
D10	95.00 $\pm 1.91$ ***	7.20 $\pm 0.48$ *	17.28 $\pm 0.48$ **	25.92 $\pm 1.44$ **	37.44 $\pm 2.88$ *	51.60 $\pm 4.80$	66.72 $\pm 6.72$	40.32 $\pm 3.36$ *

**Tabla 4** Parámetros de germinación  $\pm$  error estándar de semillas de soja.  $G_{max}$ : Porcentaje de germinación. T1-T90: tiempo necesario para alcanzar el 1-90% de semillas germinadas. TMG: Tiempo Medio de Germinación. Tiempos de exposición a un campo magnético de inducción 250 mT: sin exposición (control C), 10 minutos (D7), 20 minutos (D8), 1 hora (D9), 24 horas (D10). Los asteriscos indican el nivel de significación de las diferencias respecto al control:  $p \leq 0,001^{***}$ ;  $0,001 < p \leq 0,01^{**}$ ;  $0,01 < p \leq 0,05^*$ .

B 300 mT	$G_{max}$ %	T1 horas	T10 horas	T25 horas	T50 horas	T75 horas	T90 horas	TMG horas
C	76.00 $\pm 1.63$	16.32 $\pm 3.36$	27.84 $\pm 2.64$	36.24 $\pm 1.92$	47.52 $\pm 0.96$	60.96 $\pm 1.20$	76.32 $\pm 3.60$	50.40 $\pm 1.92$
D14	93.00 $\pm 2.52$ ***	4.80 $\pm$ 0.72 *	14.40 $\pm 0.96$ **	23.04 $\pm 0.48$ ***	35.76 $\pm 0.48$ ***	51.36 $\pm 1.68$ **	67.92 $\pm 3.12$	39.12 $\pm 0.96$ **
D15	90.00 $\pm 2.00$ **	8.40 $\pm$ 1.20	17.76 $\pm 1.44$ *	25.20 $\pm 1.44$ **	34.80 $\pm 1.20$ ***	46.08 $\pm 0.96$ ***	57.84 $\pm 1.20$ **	36.72 $\pm 0.96$ ***
D16	93.00 $\pm 1.00$ ***	7.68 $\pm 2.16$	17.08 $\pm 1.68$ *	25.20 $\pm 1.20$ **	36.72 $\pm 0.72$ ***	52.32 $\pm 0.72$ ***	71.52 $\pm 2.64$	41.52 $\pm 1.44$ *
D17	85.00 $\pm 2.52$ *	9.36 $\pm 1.68$	18.48 $\pm 1.20$ *	25.92 $\pm 0.72$ **	37.20 $\pm 1.92$ **	54.00 $\pm 3.60$	77.52 $\pm 5.52$	44.16 $\pm 2.16$

tos de las distintas intensidades, se observa que el Tiempo Medio de Germinación del control ( $50.40 \pm 1.92$  h) es superior al del resto de grupos. Existen diferencias extremadamente significativas entre el control y el tratamiento D15 ( $36.72 \pm 0.96$  h); diferencias muy significativas entre el control y D2 ( $39.36 \pm 1.44$  h), D9 ( $40.08 \pm 0.72$  h) y D14 ( $39.12 \pm 0.96$  h), y diferencias significativas entre el control y D3 ( $44.16 \pm 0.96$  h), D5 ( $40.08 \pm 2.88$  h), D8 ( $40.08 \pm 2.88$  h), D10 ( $43.68 \pm 1.44$  h), D11 ( $40.32 \pm 3.36$  h) y D16 ( $41.52 \pm 1.44$  h). El valor del porcentaje de

germinación ( $G_{ax}$ ) del control ( $76 \pm 1.63$  %) es infe

rior al del resto de los grupos; se han encontrado diferencias significativas entre el control y los tratamien

tos. El parámetro del control es superior al resto de

grupos, existen diferencias significativas entre el control y D3, D8, D11 y D14. Así mismo, los valores de los parámetros  $T_{10}$ ,  $T_{25}$  y  $T_{50}$  del control son superiores a los

encontrado diferencias extremadamente significativas entre el control y D2, D5, D9, D15 y D16, muy significativas entre el control y D14 y diferencias significativas entre el control y D10. El del control es también superior al del resto de grupos; se han encontrado diferencias muy significativas para D9 y D15 con respecto al control.

Las curvas de germinación, a partir de las cuales se calculan los parámetros de germinación,

muestran la disminución en los tiempos ( $T_{90}$ ) y por tanto, la mayor velocidad en el proceso de germinación de los grupos cuyas semillas fueron tratadas (gráficamente este hecho se observa con facilidad, ya que las curvas de los tratamientos están desplazadas a la izquierda con respecto a la curva del control).

#### 4. CONCLUSIONES



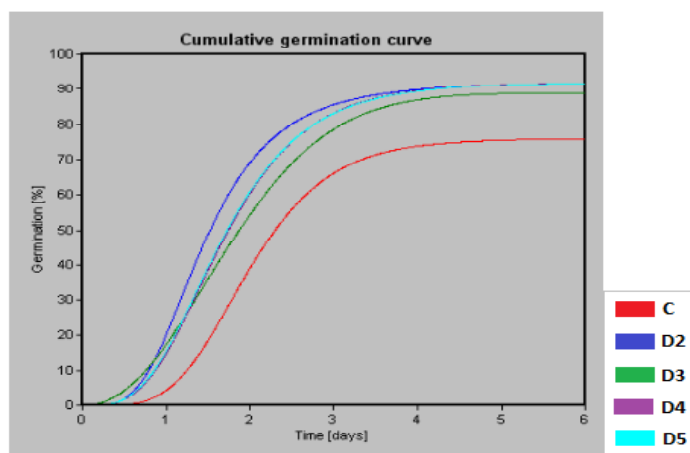


Gráfico 1. Curvas de germinación de semillas expuestas a un campo magnético de 125 mT (D2 a D5) y control (C).

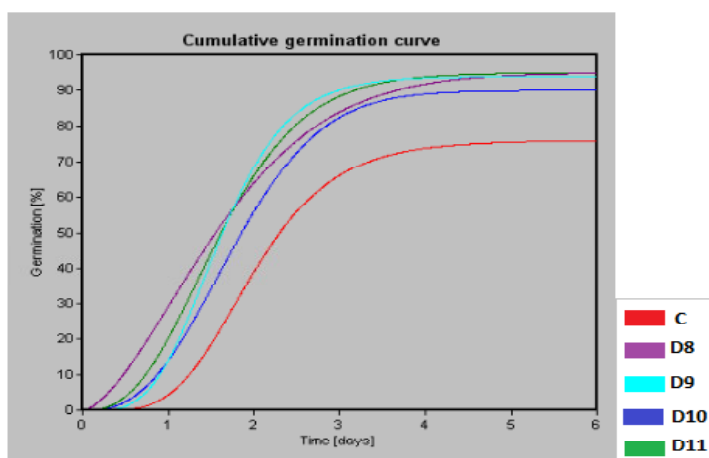


Gráfico 2. Curvas de germinación de semillas expuestas a un campo magnético de 250 mT (D8 a D11) y control (C).

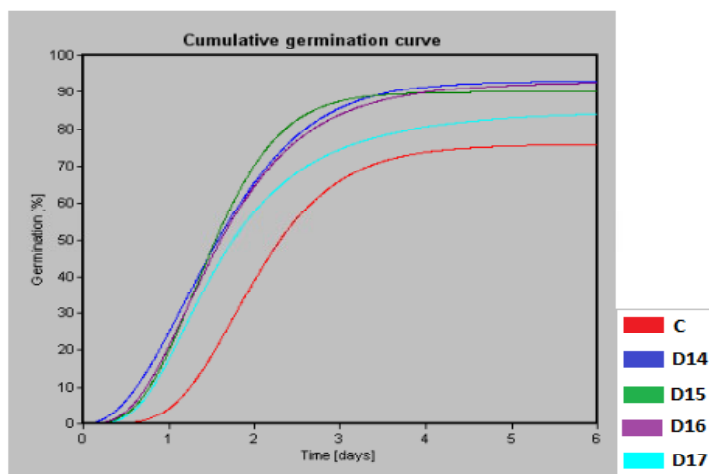


Gráfico 3. Curvas de germinación de semillas expuestas a un campo magnético de 300 mT (D14 a D17) y control (C).

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que en las semillas de soja expuestas antes de su siembra (pretratamiento o tratamiento en seco) a un campo magnético estacionario de 125, 250 ó 300 mT, durante 10 y 20 minutos y 1 y 24 horas, se observa un aumento en su velocidad de germinación.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya, J. M., Carbonell, M.V., Flórez, M., Maqueda, R. y Martínez, E. (2009). Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* L.) under magnetic field. *Agrophysics* 23 (1): 45-49.
- Belyavskaya, N. A. (2004). Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in Space Research* 34(7): 1566-1574.
- Carbonell, M. V., Flórez, M., Martínez, E., Maqueda, R. and Amaya, J.M. (2011). Study of stationary magnetic fields on initial growth of pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *Sci. & Technol.*, , 673-679.
- Chausav, R.P. (1967). Effect of magnetic field and rotation of the Earth on seed germination and shoot growth. *Fizologiya Rast* 14, 540-543.
- Gordon, Dr. A.G., Gosling, Dr. P. and Wang, Dr B.P.S. 2002. Normas internacionales para el ensayo de semillas. International Seed Testing Association (ISTA).
- Gusta, L.V., Kirkland, K.J. and Austenson, H.M. (1978). Effects of brief magnetic exposure on cereal germination and seedling growth. *Canadian Journal of Plant Science*, 58: 79-86.
- Kirschvink, J. and Walker, M. (2001). Magnetite-based magnetoreception. *Current Opinion in Neurobiology* 11: 462-467.
- Lebedev, S. I., Baranskiy, P. I., Litvinenko, L.G. and Shiyan, L.T. (1977). Barley growth in superweak magnetic field. *Electronic Treatment of Materials* 3, 71-73.
- Mericle, R.P., Mericle, L.W., Smith, A.E., Campbell, W.F. and Montgomery, D.J. (1964). Plant Growth response. (Capítulo 9 del libro *Biological effects of Magnetic Fields* Plenum Press. New York, autor Barnothy, M.F.).
- Phirke, P.S., Kubde, A.B., and Umbakar, S.P. (1996). The influence of field on plant growth. *Seed Science & Technology* 21: 621-626.
- Pietruszewski, S. (1993). Effect of magnetic seed treatment on yields of wheat. *Seed and Technology* 21: 621-626.
- Savostin, P.W. (1930). Magnetic growth relations in plants. *Planta* 12 : 327.
- Shine, M.B., Guruprasad, K.N., Anand, A. (2011). Enhancement of Germination, Growth, and Photosynthesis in Soybean by Pre-Treatment of Seeds with Magnetic Field. *Bioelectromagnetics* 32: 474-484..
- Shultz, A., Smith, P. and Dycus, A.M. (1966). Effects on early plant growth from null and directional magnetic field environments (Abstract). In: Presented at 3<sup>rd</sup> Int. Biomagnetic Symp., Chicago, pp. 67-69.
- Software package Seed Calculator 2.1. (Plant Research International B.V., Wageningen, The Netherlands). Programa informático.
- Software package SPSS v.18 (2009). IBM. Programa informático.
- Tarduno, J.A., Cottrell, R.D., Watkeys, A., Hofmann, M. K., Doubrovine, P. V., Mamajek, E. E. , D. Liu, Sibeck, D.G. , Neukirch, L.P. and Y. Usui, G. (2010). Solar wind, and magnetopause 3.4 to 3.45 billion years ago. *Science*, 327, 1238-1240.
- Torres, C., Díaz, J. y Cabal, P. (2008). Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agron. colomb.* [on line] 26(2): 177-185.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.